

Канд. техн. наук **Н.Г.КИРИЛЛОВ**
Военный инженерно-космический
университет

Сжиженный биометан – экологически чистое дешевое моторное топливо

Social, technological and energy aspects of transition of car vehicles on alternative kinds of motor fuels have been considered. A technology of production of biomethane from urban and rural domestic wastes has been described. A schematic diagram of the complex for production of liquefied biomethane based on Stirling technology is presented.

Социальные, экологические и энергетические аспекты перевода автотранспортных средств на альтернативные виды моторных топлив. Изменение климата (одна из самых серьезных экологических проблем в наши дни) связано с «парниковым эффектом», который вызван резким увеличением концентрации диоксида углерода (CO_2). Одним из основных поставщиков CO_2 в атмосферу является автотранспорт (при сжигании 1 л бензина в воздух выбрасывается до 140 г CO_2). В соответствии с решениями, принятыми странами – участниками Киотского протокола (1997 г.) и Климатической конвенцией (Рио-де-Жанейро, 1992 г.), намечено значительное сокращение в XXI в. выбросов CO_2 и других парниковых газов.

Вместе с тем большие объемы выбросов токсичных веществ автомобилями наносят огромный ущерб здоровью людей, особенно в крупных городах. За рубежом этой проблемой занялись всерьез. Сейчас экологичность транспорта на стадии его проектирования стоит в одном ряду с его потребительскими качествами и безопасностью. С 1999 г. в развитых странах введены нормы R 83-04 ЕЭК ООН («Евро-3»), устанавливающие снижение концентрации вредных веществ в отработанных газах примерно в 2 раза по сравнению с 1993 г. («Евро-1»).

К сожалению, это не относится к России. В настоящее время в городах РФ на долю автотранспорта приходится более половины объема всех вредных выбросов в атмосферу. Особенно критическое положение сложилось в мегаполисах, где эта величина превышает 70 % (например, в Санкт-Петербурге 71 %, в Москве 80 %).

Большинство из 27 млн автомашин страны не соответствует даже уста-

ревшим европейским экологическим требованиям «Евро-1». В результате суммарные выбросы канцерогенных веществ из двигателей автомобилей по России составляют более 20 млн т/год. Несоответствие транспортных средств экологическим требованиям при продолжающемся увеличении транспортных потоков приводит к постоянному возрастанию загрязнения атмосферного воздуха. Уровень концентрации оксидов азота, углерода и других вредных веществ на улицах российских городов в 10–18 раз превышает предельно допустимые концентрации (ПДК). Реально нависла угроза жесточайшего экологического кризиса, который к тому же, возможно, совпадет с энергетическим, поскольку запасы отечественной нефти ограничены и имеют специфические особенности.

Прогнозы запасов нефти показывают, что их хватит не более чем на 40 лет. При этом основные российские потенциальные и вновь открываемые нефтяные месторождения расположены в труднодоступных районах с неразвитой или вовсе отсутствующей инфраструктурой, а также со сложными условиями залегания и добычи. По ориентировочным оценкам, большая их доля находится в Западной (54 %) и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке (18 %), а также в шельфовой зоне России (20 %). Их обустройство, освоение и эксплуатация сопряжены со значительными затратами, высокой стоимостью добываемой продукции и ее транспортировки к месту переработки и потребления. Все это приводит к тому, что в России за последние 10 лет объем добычи нефти снизился в 2

раза и составляет сегодня не более 310 млн т, но и поддержание даже такого уровня может быть достигнуто только при условии вложения в развитие нефтеперерабатывающей отрасли огромных инвестиций. Себестоимость добычи нефти в суровых природно-климатических условиях севера Сибири составляет 60–80 долл/м³, достигая при существующих мировых ценах на нефть предельной величины.

В условиях роста потребления нефти при постоянном истощении ее запасов в недрах Земли, а также с учетом экологических проблем большое значение приобретают исследования в области создания новых, альтернативных видов топлив. Одним из перспективных направлений этих работ являются исследования, связанные с производством моторного топлива из биогаза.

Биогаз как сырьевой источник дешевой энергии. В отличие от России за рубежом получению и использованию биогаза уделяют большое внимание. За короткий срок во многих странах мира была создана целая индустрия по производству биогаза. Если в 1980 г. в мире насчитывалось около 8 млн установок для получения биогаза суммарной мощностью 1,7...2 млрд м³ в год, то в настоящее время данные показатели соответствуют производительности по биогазу только одной страны – Китая.

Первой страной, успешно продемонстрировавшей коммерческие биогазовые заводы по переработке сельскохозяйственных и городских бытовых отходов для получения тепловой и электрической энергии, является Дания. В этой стране эксплу-

атируется 18 биогазовых заводов, способных ежегодно обрабатывать 1,2 млн т биомассы (75 % отходов животноводства и 25 % других органических отходов), давая до 45 млн м³ биогаза, что эквивалентно 24 млн м³ природного газа.

В настоящее время в Китае эксплуатируется более 5 млн семейных биогазовых реакторов (ферментеров), ежегодно производящих около 1,3 млрд м³ биогаза, что позволяет свыше 35 млн человек использовать его для бытовых нужд. Кроме этих систем имеются 600 больших и средних биогазовых станций (общий объем производства 220 тыс. м³ в год), которые используют органические отходы от животноводства и птицеводства, винных заводов и 24 тыс. биогазовых очистительных реакторов для обработки бытовых городских отходов; работает также около 190 биогазовых электростанций. В Индии, как и в Китае, основной упор сделан на семейные и общинные биогазовые установки — в 1993 г. их было около 2 млн. Ежегодно в Индии вводятся в эксплуатацию 5–6 тыс. таких установок, дающих от 2 до 400 м³ биогаза в день.

В США работает более 10 крупных биогазовых заводов, один из которых (при трех откормочных комплексах на 110 тыс. голов) подает вырабатываемый биогаз в газораспределительную сеть г. Чикаго. Кроме того, в США широко распространены установки для использования отходов на небольших скотоводческих фермах с поголовьем до 150 единиц крупного рогатого скота. В фермерских хозяйствах Европы и Канады применяют установки производительностью до 100...200 м³ биогаза в год, что обеспечивает хозяйство тепловой энергией летом на 100 %, зимой — на 30–50 %.

В России до сих пор к биогазу относились как к экзотическому топливу и о его промышленном использовании никто серьезно не задумывался. Однако окончание эры дешевой нефти заставляет признать биогаз ценным сырьем для получения дешевой энергии и серьезно заняться разработкой технологий его широкого применения в промышленности, коммунальном хозяйстве и на транспорте.

Одной из новейших считается технология производства из биогаза нового экологически чистого и дешевого вида моторного топлива — сжиженного биометана (СБМ), исходным сырьем для производства которого служит биогаз, получаемый из городских бытовых и сельскохозяйственных отходов.

Биогаз — сырье для получения биометана. Биогаз представляет собой смесь метана и диоксида углерода и является продуктом метанового брожения органических веществ растительного и животного происхождения, осуществляемого специфическим природным биоценозом анаэробных бактерий различных физиологических групп. Содержание метана в биогазе в зависимости от химического состава сырья может составлять 50–90 %. Наиболее эффективным и совершенным сооружением для анаэробного сбраживания осадков является металлический или железобетонный резервуар, в котором осуществляется только сбраживание осадка с подогревом и перемешиванием.

Городские источники биогаза. Канализационные (аэрационные) газы — это продукт брожения сточных вод городской канализации, представляющий собой разновидность биогаза. Массовые доли (%) компонентов биогаза: метан (CH₄) — 60–65, диоксид углерода (CO₂) — 30–35 и водород (H₂) — 2–4. Как показывает практика, выход канализационных газов со станции переработки, питаемой канализационной сетью, обслуживающей населенный пункт с численностью жителей 100 тыс. человек, достигает в сутки более 2500 м³, что эквивалентно 2000 л бензина [6].

Учитывая, что население наиболее крупных городов России, как правило, превышает 500 тыс. человек, аэрационные газы становятся реальным источником местного альтернативного моторного топлива в этих городах. Так, коммунальное и автотранспортное хозяйство Москвы ежедневно может получать до 200 тыс. м³ биогаза, что позволяет перевести значительную часть муниципального и городского автотранспорта на альтернативный вид моторного топлива, экономя тем самым бо-

лее 150 тыс. л нефтепродуктов (бензина и дизельного топлива) в сутки.

Производство биогаза из осадков сточных вод очистных станций городской канализации. В зависимости от химического состава осадков при сбраживании выделяется от 5 до 15 м³ биогаза на 1 м³ осадка сточных вод. Максимальный суточный выход биогаза на единицу объема резервуара для анаэробного сбраживания осадка достигается при критической концентрации органического вещества в загружаемом осадке сточных вод, составляющей в зависимости от вида осадка и температуры процесса 65...90 кг/м³.

По данным Научно-исследовательского, конструкторского и проектно-технологического института органических удобрений и торфа, на очистных станциях России и стран СНГ накопление жидких осадков сточных вод составляет 170 млн м³/год. При анаэробном сбраживании этого количества осадков может быть получено 1,5 млрд м³ биогаза в год, что соответствует 1,2 млн т условного топлива.

Производство биогаза из городских твердых бытовых отходов (ТБО). Для производства биогаза из ТБО измельченные отходы в резервуаре для анаэробного сбраживания осадка перемешивают с канализационным осадком из первичных и вторичных отстойников очистных сооружений. Температура в смоченной массе повышается до 65...70 °С, и процесс анаэробного сбраживания идет в течение 1–2 мес. По данным зарубежных специалистов, из 1 м³ ТБО выделяется до 1,5 м³ газов. Массовые доли (%) компонентов биогаза: метан — 50, диоксид углерода — 25, водород азот — до 2 [5]. Данную технологию достаточно широко используют за рубежом. Большое количество биогаза получают при переработке твердых бытовых отходов городов США, Японии, Швеции и др. Их общее количество эквивалентно энергии в 37 • 10¹⁵ Дж.

Источники биогаза в сельском хозяйстве. Подсчеты показывают, что в сельской местности производство биогаза может считаться рентабельным при наличии 20 коров, 200 свиней или 3500 кур. Одним из источ-

ков получения биогаза является птицеводство. Для определения выхода биогаза можно принять, что в одном типовом птичнике содержится 25 тыс. кур, дающих в день до 5 т помета, из которого выходит 5000 м^3 (при нормальных условиях) биогаза. Таким образом, из 1 т куриного помета можно получить моторное топливо в количестве, эквивалентном 700 л бензина. Не менее важным источником получения биогаза служит животноводство. Из 1 т сухого вещества навоза в результате анаэробного сбраживания при оптимальных условиях можно получить 340 м^3 биогаза, или в пересчете на одну голову крупного рогатого скота в сутки $2,5 \text{ м}^3$, а в течение года — примерно 900 м^3 . Рассчитав энергетический эквивалент такого количества биогаза по отношению к бензину, можно прийти к такому парадоксальному на первый взгляд выводу, что одна корова в год кроме молока дает более 600 л бензина. Одновременно при сбраживании обеспечиваются дезодорация навоза, дегельминтизация, уничтожение способности семян сорных растений к всхожести и перевод органического удобрения в минеральную форму. Для пересчета количества биогаза с птицеводческого комплекса на животноводческий можно пользоваться следующими условными единицами: 1 корова=4 свиньи=250 кур.

Использование сжиженного биометана в качестве моторного топлива. Однако создание двигателей автотранспортных средств, работающих на биогазе, имеющем низкую теплоту сгорания, представляет определенные трудности, обусловленные необходимостью сохранения мощности и экономичности работы базового двигателя на эксплуатационных режимах, обеспечения надежности и устойчивости двигателя на всех режимах, минимальных конструктивных доработок базового двигателя и т.д. В двигателях целесообразнее использовать не биогаз, а получаемый из него биометан. Для этого из биогаза удаляют CO_2 и другие примеси, после чего получаемый газ имеет практически однородный состав (биометан), содержит 90–97 % CH_4 с теплотой сгорания $35\text{--}40 \text{ МДж/м}^3$ и по своим техническим характери-

кам как моторное топливо аналогичен природному газу.

Биометан, как и другие газовые топлива, имеет низкую объемную концентрацию энергии. При нормальных условиях теплота сгорания 1 л биометана составляет $33\text{--}36 \text{ кДж}$, в то время как теплота сгорания 1 л бензина — 31400 кДж , т.е. в 1000 раз больше, чем у биометана. Поэтому биометан может применяться в автомобилях как моторное топливо либо в компримированном (сжатом), либо в криогенном (сжиженном) состоянии.

Основным сдерживающим фактором широкого применения сжатого биометана в качестве моторного топлива, как и в случае с компримированным природным газом, является транспортировка толстостенных баллонов, масса которых составляет до 96 % массы всей топливной системы. На 100 км пути для трехтонной автомашины потребуется более 30 м^3 газа. При давлении 20 МПа в баллон вместимостью 50 л входит до 10 м^3 газа, следовательно, для суточного пробега необходимо иметь не менее восьми таких баллонов, общая масса которых составляет около 700 кг.

Значительная часть неудобств и затруднений отпадает с переходом на сжиженный биометан. Сжижение позволяет уменьшить объем газа, занимаемый в обычных условиях, почти в 600 раз и хранить его практически при атмосферном давлении, что дает возможность (по сравнению со сжатием газа) уменьшить массу топливной системы на автомобиле в 3–4 раза и объем — в 2–3 раза. Однако до настоящего времени не существовало простой и экономически целесообразной технологии сжижения газообразного биометана, в результате чего сжиженный биометан в двигателях внутреннего сгорания ранее не применяли.

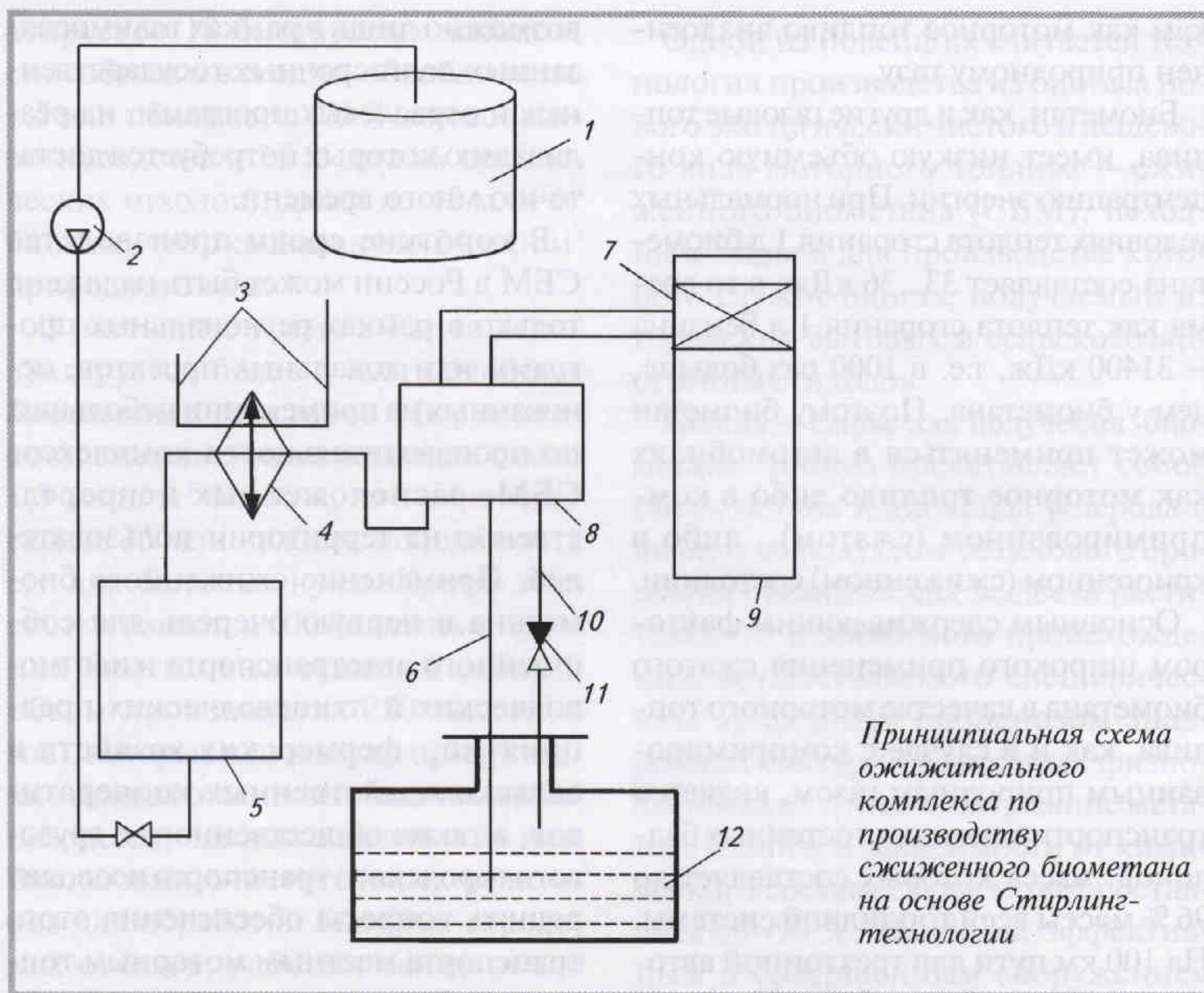
Говоря о перспективах производства СБМ, можно выделить два основных направления решения этой проблемы, одно из которых — создание централизованных производств на основе биогенераторных заводов и крупных ожижительных комплексов, другое — создание небольших по производительности производств на основе биогенераторных и криогенных установок. Первое направление

возможно лишь в рамках взаимосвязанных долгосрочных государственных и отраслевых программ, на реализацию которых потребуется достаточно много времени.

В короткие сроки производство СБМ в России может быть налажено только в рамках региональных программ или локальных проектов, основанных на применении небольших по производительности комплексов СБМ, расположенных непосредственно на территории пользователей. Применение сжиженного биометана в первую очередь для собственного автотранспорта животноводческих и птицеводческих предприятий, фермерских хозяйств и сельскохозяйственных кооперативов, а также общественного и грузового городского транспорта позволит решить вопросы обеспечения этого транспорта местным моторным топливом с более высокими экологическими характеристиками, замещающим значительную часть традиционного топлива, и должно дать существенный экономический эффект.

Стирлинг-технология производства сжиженного биометана. В современных экономических условиях только появление сравнительно дешевого способа производства сжиженного биометана может сделать этот вид топлива конкурентоспособным на отечественном рынке моторных топлив. Автором предлагается новая технология производства СБМ на основе использования криогенных газовых машин (КГМ), работающих по циклу Стирлинга. Криогенные газовые машины Стирлинга отечественных и зарубежных фирм являются криогенераторами, основанными на принципе только внешнего охлаждения, и предназначены для ожижения газов, температура конденсации которых не ниже 70 К. В России производится несколько модификаций КГМ Стирлинга производительностью по сжиженному биометану $14\text{--}80 \text{ л/ч}$ [2]. За рубежом фирмами «Филипс» и «Веркспоор» освоено серийное производство более мощных КГМ Стирлинга, производительностью более 700 л/ч .

Одна из принципиальных схем ожижительного комплекса, реализующая способ получения сжиженного биометана из отходов домашних



животных и птиц, показана на рисунке. Биогаз из резервуара 1 для анаэробного сбраживания осадка с помощью компрессора 2 подается в блок очистки 5, где газ очищается от CO_2 с образованием биометана. В вымораживателе 8 вымораживаются остаточные примеси (H_2O и CO_2) полученного биометана. В конденсаторе 7 криогенной машины Стирлинга 9 сухой и чистый биометан сжижается за счет внешнего охлаждения и самотеком по линии 6 сливается в емкость для хранения сжиженного биометана 12. Для поддержания равного давления в газовой полости емкости для хранения сжиженного биометана 12 и в конденсаторе 7 предусмотрена перемычка 10 с обратным клапаном 11, соединяющая газовую полость емкости 12 с вымораживателем 8. Для охлаждения метансодержащего газа в теплообменнике-охладителе 4 предусмотрена магистраль внешнего теплоносителя 3 с температурой окружающей среды, например атмосферного воздуха.

На основе КГМ Стирлинга могут быть созданы малогабаритные комплексы по производству СБМ непосредственно в автохозяйстве любого предприятия, где есть условия для получения биогаза (все технические решения патентуются). В качестве комплектующих для создания дан-

ных комплексов предполагается использовать только серийно производимое отечественной промышленностью оборудование. Криогенные машины Стирлинга выпускаются ОАО «Машиностроительный завод «АР-СЕНАЛ» и НПО «Гелиймаш», а соответствующие биогенераторные установки «КОБОС-1» (для крупного рогатого скота) и «БИОГАЗ-301С» (для свиноводческой фермы в 3000 свиней) — Шумихинским машиностроительным заводом [4]. Малогабаритный комплекс СБМ на основе данного оборудования позволяет получать до 700 л сжиженного биометана в сутки, обеспечивая тем самым заправку шести автомашин типа «ЗИЛ-130» или 15 легковых автомашин. При необходимости производительность комплекса можно увеличить путем присоединения дополнительных модулей.

На основе Стирлинг-технологий могут создаваться и индивидуальные ожигительные комплексы производительностью по сжиженному биометану 14...40 л/ч, предназначенные специально для фермерских и частных хозяйств [1]. В настоящее время в России выпускают небольшие биогенераторные установки, разработанные в рамках федерального проекта «Индивидуальные биогазовые установки для крестьян-

ского подворья» и рассчитанные на производство биогаза при численности крупного рогатого скота до 10 голов, свиней до 60 голов и птицы до 600–1000 голов.

Предварительные технико-экономические расчеты показывают, что стоимость нового топлива — сжиженного биометана, полученного на основе Стирлинг-технологии из местного сырья, не превысит 1–1,5 руб. за 1 л СБМ.

Таким образом, сжиженный биометан, получаемый из местного сырья (канализационный газ, бытовые отходы, навоз, куриный помет и т.д.), — самое дешевое и экологически чистое моторное топливо. Это топливо можно использовать в двигателях внутреннего сгорания вместо бензина и дизельного топлива, а затраты на его производство окупаются достаточно быстро.

Газобаллонное оборудование автомобиля, работающего на сжиженном биометане, полностью соответствует оборудованию автомобиля, работающего на сжиженном природном газе (СПГ). Это позволяет в случае необходимости производить равноправную замену СБМ на СПГ и наоборот, что обеспечивает создание в короткие сроки единой инфраструктуры производства и заправки автотракторной техники РФ альтернативными моторными топливами — сжиженным природным газом и сжиженным биометаном [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов Н.Г. Индивидуальные и малогабаритные заправочные станции СПГ//Газовая промышленность. 2001. № 6.
2. Кириллов Н.Г. Машины Стирлинга для высокоэффективных и экологически чистых систем автономного энергоснабжения//Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2000. № 12.
3. Кириллов Н.Г. О создании инфраструктуры производства СПГ для автотранспортных средств в Российской Федерации//Нефтегазовые технологии. 2001. № 3.
4. Ковалев А.А. Биогазовые установки России//Чистый город. 2000. № 2.
5. Разнощик В.В. Проектирование и эксплуатация полигонов для твердых бытовых отходов — М.: Стройиздат, 1981.
6. Терентьев Г.А., Тюков В.М., Смаков Ф.В. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов — М.: Химия, 1980.